

激光深熔焊接焊缝形成机制*

庞 铭¹, 谭建松¹, 王建平¹, 吴 波¹, 解志民¹, 郑彩云²

(1. 中国北方发动机研究所分所, 河北 廊坊 065000; 2. 中国科学院 力学研究所, 北京 100190)

摘要: 研究了额定功率为 3kW 的 Nd:YAG 激光器焊接镍基高温合金 K418、合金钢 42CrMo、镍基高温合金 K418 与合金钢 42CrMo 异种金属; 通过光学显微镜观察了焊缝的宏观形貌。结果表明, 42CrMo 焊缝形貌为 II 形, K418 焊缝形貌为对称形的大钉头小钉身焊缝, K418 与 42CrMo 焊缝形貌为非对称形的大钉头小钉身焊缝。由于 K418 和 42CrMo 热物性参数的差异, K418 与 42CrMo 异种金属激光焊接随激光覆盖 K418 侧的光斑面积比例从 1/3 增加到 2/3, 大钉头小钉身的焊缝横截面尾部从圆弧形逐步过渡到月牙形。

关键词: 激光焊接; 焊缝形貌; 圆弧形; 月牙形

中图分类号: TG 456.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-9731(2009) 增刊 0344-03

1 引言

激光焊接具有功率密度高、速度快、变形小和焊缝力学性能好等优点而广泛应用于航空航天、船舶和兵器装备等领域。目前已有大量的文献报道激光焊接工艺、接头组织、等离子体的控制和焊接热源模型的研究, 但主要是针对特定材料, 研究结果没有通用性^[1-5]。本文通过研究不同材料焊缝形成机制, 为深入研究激光焊接过程中激光与材料的耦合机制奠定基础。

2 实验

实验材料为镍基高温合金 K418、合金钢 42CrMo, 实验设备采用连续波 Nd:YAG 固体激光器, 额定输出功率 3 kW, 光束模式多模, 聚焦镜头焦距 200 mm。侧吹保护气体为高纯度的 Ar 气, 侧吹保护气角度 35°, 侧吹保护气吹气方向和焊接方向相反。选用下面的几种方式焊接: K418 与 K418 对接; 42CrMo 与 42CrMo 对接; K418 与 42CrMo 异种金属焊接。焊前用丙酮对试样清洗。激光焊接对工作台的精度要求很高, 本实验通过千分表调整工作台的水平和垂直精度, 使其误差范围在 (± 0.02) mm 内。

通过线切割切取焊接试样, 机械抛光后用王水腐蚀 K418 焊缝及 K418 与 42CrMo 异种金属焊接焊缝、用硝酸酒精腐蚀 42CrMo, 通过光学显微镜拍焊缝的宏观形貌。表 1、2 为 42CrMo 与 K418 的化学成份; 表 3、4 为 42CrMo 与 K418 的热物性参数。

表 1 42CrMo 的化学成分

Table 1 Chemical composition of 42CrMo

元素	C	Cr	Mo	Mn
成份(wt%)	0.38~0.45	0.90~1.20	0.15~0.25	0.50~0.80
元素	Si	P	S	Fe
成份(wt%)	0.20~0.40	≤0.040	≤0.040	Bal.

表 2 K418 的化学成分

Table 2 Chemical composition of K418

元素	C	Cr	Mo	Nb
成份(wt%)	0.08~0.16	11.5~13.5	3.8~3.8	1.8~3.5
元素	Al	Ti	Zr	B
成份(wt%)	4.5~5.4	0.5~1.0	0.06~0.15	0.008~0.020
元素	Mn	Si	P	S
成份(wt%)	≤0.50	≤0.50	≤0.015	≤0.010
元素	Fe	Pb	Bi	Ni
成份(wt%)	≤1.0	≤0.001	≤0.0001	Bal.

表 3 42CrMo 热物性参数

Table 3 Thermal physical and chemical property of 42CrMo

Temperature(°C)	20	100	200	300	400	500
C_p (J·kg ⁻¹ ·°C)	470	484	521	560	607	668
K (W·m ⁻¹ ·°C)	39	36	35	34	33	31
Temperature/°C	600	700	762	800	900	1000
C_p (J·kg ⁻¹ ·°C)	745	873	1075	796	684	677
K (W·m ⁻¹ ·°C)	29	25	20	21	24	23

表 4 K418 热物性参数

Table 4 Thermal physical and chemical property of K418

Temperature(°C)	20	100	200	300	400
C_p (J·kg ⁻¹ ·°C)	529	535	549	573	542
K (W·m ⁻¹ ·°C)	9	10	12	13	15
Temperature/°C	500	600	700	800	900
C_p (J·kg ⁻¹ ·°C)	565	602	650	706	763
K (W·m ⁻¹ ·°C)	16	18	21	23	24

3 结果和讨论

图 1 是 42CrMo 焊缝的显微照片。从图 1 可以看出, 42CrMo 焊缝形貌从焊缝正面到背面其宽度波幅小。由激光深熔焊接的原理可知, 高能束激光作用在材料表面瞬间使材料产生气化, 气化的金属产生一个反作用力

* 收稿日期: 2009-04-21

通讯作者: 庞 铭

作者简介: 庞 铭 (1980—), 男, 四川达县人, 博士, 工程师, 主要从事激光加工和发动机可靠性的研究。

作用在液态金属中, 在液态金属中形成一个凹坑, 激光继续辐照在凹坑的底部, 凹坑进一步加深, 如果激光的能量足够大, 就会形成贯穿整个焊缝的匙孔, 如图 2 所示^[6]。激光深熔焊接气化的金属蒸气在激光的继续辐照下, 部份金属蒸气被电离, 在匙孔内部和上方形成等离子体, 在焊缝正面的等离子体相当于一个附加热源作用在焊缝。由于 42CrMo 传热系数高, 材料通过热传递损耗的能量高, 导致焊缝正面的等离子体的附加热源效果不明显, 使焊缝从正面到背面其宽度波动幅度不大。

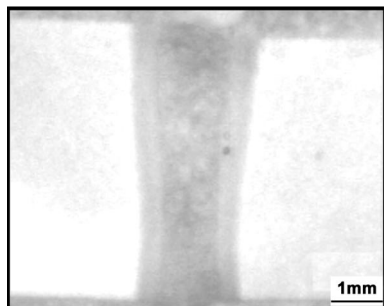


图 1 42CrMo 焊缝

Fig 1 Weld seam of 42CrMo

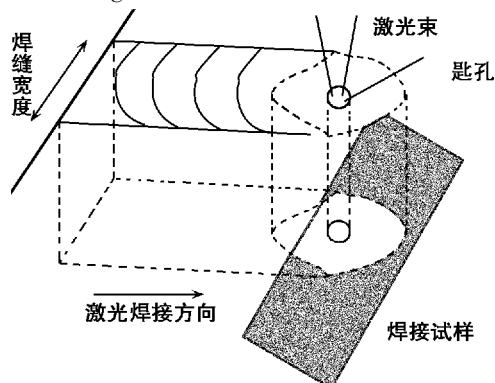


图 2 深熔焊接匙孔

Fig 2 Deep penetration welding keyhole

图 3 为 K418 焊缝的显微照片。从图 3 可以看出, K418 焊缝形貌为典型的大钉头小钉身焊缝, 且焊缝形貌对称。大钉头小钉身的焊缝是由于 K418 的导热系数小, 等离子体的附加热源效应对焊缝正面影响显著。

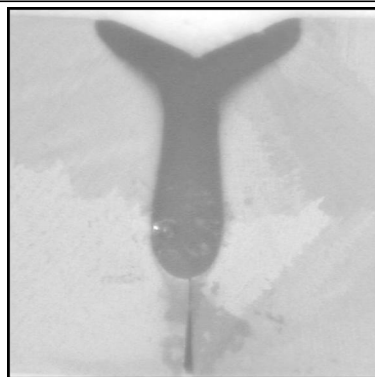


图 3 K418 焊缝

Fig 3 Weld seam of K418

图 4 为 K418 和 42CrMo 异种金属焊接焊缝的显微照片。激光焊接参数为: 激光功率 3kW, 激光焊接速度 15mm/s, 离焦量为 -1mm。图 4 (a) 激光光斑 42CrMo 侧占 2/3 面积, (b) 激光光斑 K418 侧占 2/3 面积, (c) 激光光斑在焊接接头中心。从图 4 可以看出, K418 和 42CrMo 焊缝形貌为非对称性的大钉头小钉身焊缝, 且钉身收尾处随 K418 和 42CrMo 熔合比例的不同由圆弧形过渡到月牙形。焊缝形貌的不对称是由于 K418 和 42CrMo 热物性的差异导致两种金属对激光的利用率不同。由激光焊接的原理可知, 激光作用在材料表面的功率密度使材料熔化而不能使材料气化, 则为热传导焊接; 深熔焊接的前提是激光作用在材料表面的功率密度能使材料气化。由于 K418 和 42CrMo 热物性参数的差异, 导致这两种材料达到热传导焊接和深熔焊接所需的临界功率密度不同。如果激光的功率密度介于 K418 和 42CrMo 深熔焊接所需的最小功率密度之间, 匙孔就会偏移; 如果激光的功率密度介于 K418 热传导焊接所需功率密度范围内, 而低于 42CrMo 热传导焊接所需的最小功率密度, 焊缝就会发生偏移。K418 和 42CrMo 异种金属激光焊接, 随激光光斑的偏移改变了激光深熔焊接形成的匙孔中激光与材料耦合机制, 导致小钉头收尾处呈现弧形、月牙形形貌。

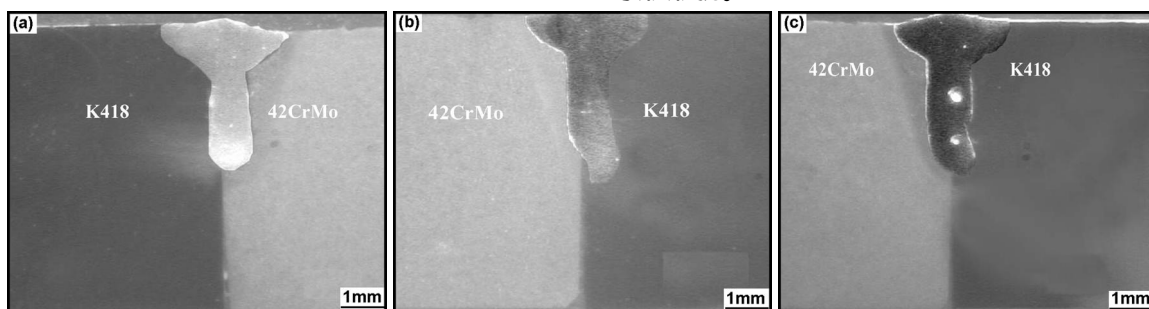


图 4 K418 和 42CrMo 异种金属焊接焊缝

Fig 4 Weld seam of K418 and 42CrMo dissimilar metal welding

4 结 论

(1) 激光深熔焊接焊缝形貌与材料的热物性参数密切相关, 随材料热物性参数的不同焊缝呈现对称

性的大钉头小钉身的焊缝、非对称性的大钉头小钉身焊缝、Π形焊缝。

(2) 异种材料异种金属激光焊接随激光斑偏移量的不同焊缝小钉身收尾处呈现圆弧形或月牙形形

貌。

参考文献:

- [1] Lee J W W. [J]. Welding Review International, 1992, 11 (4): 189-192.
- [2] Zhong Minlin, Sun Hongqing, Liu Wenjin, et al. [J]. Scripta Materialia, 2005, 53: 159-164.
- [3] 夏伟白. [J]. 电焊机, 1989, 5: 30.
- [4] 杜随更, 傅 莉, 曹 营, 等. [J]. 西北工业大学学报, 2004, 22(1): 112-115.
- [5] 庞 铭, 郑彩云, 王立新, 等. [J]. 焊接学报, 2007, 28(9): 83-86.
- [6] 庞 铭, 虞 钢, 刘 兆, 等. [J]. 中国激光, 2006, 33 (8): 1122-1126.

Weld seam formation mechanism of deep penetration laser welding

PANG Ming¹, TAN Jiarsong¹, WANG Jiarping¹, WU Bo¹, JIE Zhirmin¹, ZHENG Cairyun²

(1. Substation China North Engine Research Institute, Langfang 065000, China;

2. Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Experiments of laser welding K418, 42CrMo and dissimilar metal K418 and 42CrMo were conducted using 3 kW continuous wave (CW) Nd: YAG laser. Cross section of the weld seam was characterized by optical microscopy. Results show that the cross section of 42CrMo, K418, and dissimilar metal K418 and 42CrMo weld seam exhibit II shape, symmetry nail shape and asymmetrical nail shape respectively. The change from arc shape to crescent shape at the bottom of cross section of dissimilar metal K418 and 42CrMo is observed with the proportion of laser irradiation on K418 to 42CrMo altered from 1/3 to 2/3, which is due to difference of their physical and chemical properties.

Key words: laser welding; cross section of weld seam; arc shape; crescent shape